

**PCT**WELTORGANISATION FÜR GEISTIGES EIGENTUM  
Internationales BüroINTERNATIONALE ANMELDUNG VERÖFFENTLICHT NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE  
INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT)

(51) Internationale Patentklassifikation <sup>7</sup> : <b>H04B 7/00</b>		<b>A2</b>	(11) Internationale Veröffentlichungsnummer: <b>WO 00/35116</b> (43) Internationales Veröffentlichungsdatum: <b>15. Juni 2000 (15.06.00)</b>
(21) Internationales Aktenzeichen: <b>PCT/DE99/04031</b> (22) Internationales Anmeldedatum: <b>10. Dezember 1999 (10.12.99)</b> (30) Prioritätsdaten: <b>198 58 951.4 10. Dezember 1998 (10.12.98) DE</b> (71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten ausser US): <b>HEINRICH-HERTZ-INSTITUT FÜR NACHRICHTENTECHNIK BERLIN GMBH [DE/DE]; Einsteinufer 37, D-10587 Berlin (DE).</b> (72) Erfinder; und (75) Erfinder/Anmelder (nur für US): <b>BOCHE, Holger [DE/DE]; Dönhoffstrasse 36a, D-10318 Berlin (DE). BRONZEL, Marcus, J. [DE/DE]; Eisenacher Strasse 17, D-01309 Dresden (DE). KUHWARD, Thomas [DE/DE]; Theobald-Renner-Strasse 28, D-07747 Jena (DE).</b>		(81) Bestimmungsstaaten: <b>AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, CA, CH, CN, CU, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MD, MG, MK, MN, MW, MX, NO, NZ, PL, PT, RO, RU, SD, SE, SG, SI, SK, SL, TJ, TM, TR, TT, UA, UG, US, UZ, VN, YU, ZW, ARIPO Patent (GH, GM, KE, LS, MW, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZW), eurasisches Patent (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europäisches Patent (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE), OAPI Patent (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).</b>  <b>Veröffentlicht</b> <i>Ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu veröffentlichen nach Erhalt des Berichts.</i>	
<b>BEST AVAILABLE COPY</b>			
(54) Title: <b>METHOD AND SYSTEM FOR GENERATING DEFINED DIRECTIONAL CHARACTERISTICS</b> (54) Bezeichnung: <b>VERFAHREN UND ANORDNUNG ZUR ERZEUGUNG VORGEGEBENER RICHTCHARAKTERISTIKEN</b> (57) Abstract <p>The invention relates to a method and a system for generating defined directional characteristics of adaptive array antennas in wireless mobile telephone systems. The invention aims to provide a solution which reliably suppresses incoming noise signals, increases the transmission capacity of the radio communications link and improves the quality of the received signal. To this end, the invention provides for a method consisting of the following steps: reception of the useful signals and noise signals; determination of the number of incoming signals; determination of the angle of incidence of the useful signals and noise signals by an estimation of their direction; separation of useful and noise signals; restriction of the number of noise signals; determination of the weighting factors for the individual signals; and combination of the signals weighted using said weighting factors to obtain a total received signal.</p> (57) Zusammenfassung <p>Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Anordnung zur Erzeugung vorgegebener Richtcharakteristiken von adaptiven Gruppenantennen in drahtlosen Mobilfunksystemen. Es soll eine Lösung angegeben werden, bei der eingehende Störsignale sicher unterdrückt werden, eine größere Übertragungskapazität der Funkverbindung erzielt und gleichzeitig die Qualität des Empfangssignals verbessert wird. Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß durch ein Verfahren mit nachstehend angegebenen Schritten gelöst: Empfang der Nutz- und Störsignale; Bestimmung der Anzahl der eingehenden Signale; Bestimmung der Einfallswinkel der Nutz- und Störsignale durch eine Richtungsschätzung; Trennung von Nutz- und Störsignalen; Begrenzung der Anzahl der Störsignale; Bestimmung der Gewichtungsfaktoren für die einzelnen Signale; Zusammenfassung der mit den Gewichtungsfaktoren gewichteten Signale zu einem Gesamtempfangssignal.</p>			

**LEDIGLICH ZUR INFORMATION**

Codes zur Identifizierung von PCT-Vertragsstaaten auf den Kopfbögen der Schriften, die internationale Anmeldungen gemäss dem PCT veröffentlichen.

AL	Albanien	ES	Spanien	LS	Lesotho	SI	Slowenien
AM	Armenien	FI	Finnland	LT	Litauen	SK	Slowakei
AT	Österreich	FR	Frankreich	LU	Luxemburg	SN	Senegal
AU	Australien	GA	Gabun	LV	Lettland	SZ	Swasiland
AZ	Aserbaidschan	GB	Vereinigtes Königreich	MC	Monaco	TD	Tschad
BA	Bosnien-Herzegowina	GE	Georgien	MD	Republik Moldau	TG	Togo
BB	Barbados	GH	Ghana	MG	Madagaskar	TJ	Tadschikistan
BE	Belgien	GN	Guinea	MK	Die ehemalige jugoslawische	TM	Turkmenistan
BF	Burkina Faso	GR	Griechenland		Republik Mazedonien	TR	Türkei
BG	Bulgarien	HU	Ungarn	ML	Mali	TT	Trinidad und Tobago
BJ	Benin	IE	Irland	MN	Mongolei	UA	Ukraine
BR	Brasilien	IL	Israel	MR	Mauretanien	UG	Uganda
BY	Belarus	IS	Island	MW	Malawi	US	Vereinigte Staaten von
CA	Kanada	IT	Italien	MX	Mexiko		Amerika
CF	Zentralafrikanische Republik	JP	Japan	NE	Niger	UZ	Usbekistan
CG	Kongo	KE	Kenia	NL	Niederlande	VN	Vietnam
CH	Schweiz	KG	Kirgisistan	NO	Norwegen	YU	Jugoslawien
CI	Côte d'Ivoire	KP	Demokratische Volksrepublik	NZ	Neuseeland	ZW	Zimbabwe
CM	Kamerun		Korea	PL	Polen		
CN	China	KR	Republik Korea	PT	Portugal		
CU	Kuba	KZ	Kasachstan	RO	Rumänien		
CZ	Tschechische Republik	LC	St. Lucia	RU	Russische Föderation		
DE	Deutschland	LI	Liechtenstein	SD	Sudan		
DK	Dänemark	LK	Sri Lanka	SE	Schweden		
EE	Estland	LR	Liberia	SG	Singapur		

Bezeichnung

Verfahren und Anordnung zur Erzeugung vorgegebener Richtcharakteristiken

5

Beschreibung

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Erzeugung vorgegebener Richtcharakteristiken von adaptiven Gruppenantennen in drahtlosen Mobilfunksystemen, umfassend die Verfahrensschritte Empfang der Nutz- und Störsignale durch N Antennenelemente ( $x_1 \dots x_N$ ); Bestimmung der Anzahl der eingehenden Signale; Bestimmung der Gewichtungsfaktoren für die einzelnen Signale der Antennenausgänge in einem Beamformer; Multiplikation der Gewichtungsfaktoren  $w_i$  am Ausgang des Beamformers mit den jeweils zugehörigen Signalen der Antennenausgänge; Addition dieser gewichteten Signale zu einem Gesamtempfangssignal in einem Summierer; Ausbildung der gewünschten Richtcharakteristik, sowie eine Anordnung, aufweisend Antennenelemente, an die sich ein Basisband-Mischer zur Demodulation der eingegangenen Signale anschließt, einen Beamformer zur Bestimmung der Antennengewichte und ein Summierglied zur Bildung eines Gesamtempfangskanals.

Mit diesen Richtcharakteristiken können Nutzsignale aus vorher bestimmten Richtungen mit einem erhöhten Gewinn empfangen und gleichzeitig Störsignale aus ebenfalls vorher bestimmten Richtungen unterdrückt werden. Damit kann die Qualität des Empfangssignals erhöht und somit eine größere Übertragungskapazität der Funkverbindung erzielt werden. Weiterhin ist eine räumliche Trennung von Nutzsignalen (SDMA- [space division multiple access] Raummultiplex) durch mehrere gleichzeitig erzeugte Richtcharakteristiken möglich, woraus sich eine Vervielfachung der Anzahl bedienbarer Teilnehmer pro Funkzelle ergibt. Durch permanente Anpassung der Richtcharakteristik an die momentane Situation der Umgebung kann auf

Bewegung der Mobilfunkteilnehmer bzw. Bewegungen von reflektierenden oder absorbierenden Objekten reagiert werden.

Typische Einsatzgebiete sind derzeit existierende Mobilfunksysteme (GSM 900 und GSM 1800 [global system for mobile comm. - weltweites Mobilfunksystem]), bei denen die Anzahl bedienbarer Teilnehmer pro Funkzelle erhöht werden kann. Weiterhin ist der Einsatz in zukünftigen Mobilfunksystemen, wie zum Beispiel UMTS (universal mobile telecomm. systems - Universal-Mobilfunk), zur Erhöhung der Teilnehmerzahlen und zur Realisierung höherer Datenraten vorgesehen.

Bisher wurde die Erzeugung einer Richtcharakteristik bei vorgegebenen Richtungen der Nutz- und Störsignale gelöst, indem:

- 15 a) das globale Maximum der Richtcharakteristik in Richtung des stärksten Nutzsignales ausgebildet wird. Eine Berücksichtigung der Störsignale ist dabei nicht möglich (s. Barlett, M. S.: "Periodogram analysis and continuous spectra", Biometrika, vol. 37, pp. 1-16, 1950);
- 20 b) eine feste, von der Anzahl der Antennenelemente abhängige Anzahl von Nullstellen vorgegeben wird. Diese Nullstellen entsprechen den Richtungen der Störsignale. Die Richtung des globalen Maxima ist dabei nicht beeinflussbar. Weiterhin kann die Anzahl der Nullstellen nicht an die Anzahl der Störsignale angepaßt werden. (s. Capon, J.: "High resolution frequency-wavenumber spectrum analysis", Proceedings of the IEEE, vol. 25 57, pp. 1408-1418, August 1969).

Weiterhin besteht bei beiden bekannten Lösungen der Nachteil, daß die Anpassung an die jeweilige Situation der Umgebung nur begrenzt möglich ist, d.h. es wird kein optimales Ergebnis bezüglich der Qualität des Empfangssignals erreicht.

In zwei Veröffentlichungen von Godara wird ein umfassender Überblick zu den bisher bekannten Verfahren gegeben, wobei jedoch diese Übersicht keine neuen oder gegenüber den erstgenannten Veröffentlichungen weiterentwickelten Lösungen enthält (s. L. C. Godara: "Application of Antenna  
5 Arrays to Mobile Communications, Part I: Performance, Improvement, Feasibility and System Considerations", Proceedings of the IEEE, vol. 85, no. 7, pp. 1029-1060, July 1997 und "Application of Antenna Arrays to Mobile Communications, Part II: Beam-Forming and Direction of Arrival Considerations", Proceedings of the IEEE, vol. 85, no. 8, pp. 1193-1245,  
10 August 1997).

In IEEE Transactions on Antennas and Propagation, Vol. 39, No. 1, January 1991, pp.21-28 wird ein Verfahren zur Strahlformung in adaptiven Antennenarrays beschrieben, das auf einer DoA- (Direction of  
15 Arrival) Schätzung beruht. Dabei wird von dem klassischen Ansatz der Minimierung der Effekte der empfangenen Störsignale und der Rauschleistungen ausgegangen und die Wiener Lösung konstruiert, wozu die Richtung der gewünschten Mobilstation bekannt sein muß. Eine vollständige Unterdrückung der Störsignale erfolgt hierbei nicht.

20

Der Stand der Technik, von dem die Erfindung ausgeht, ist in EP 0 883 207 beschrieben. Es wird ein Verfahren zur Erzeugung von Richtcharakteristiken angegeben, umfassend die Verfahrensschritte Empfang der Nutz- und Störsignale durch N Antennenelemente ( $x_1 \dots x_N$ ); Bestimmung der Anzahl der  
25 eingehenden Signale; Bestimmung der Gewichtungsfaktoren für die einzelnen Signale in einem Beamformer; Multiplikation der Gewichtungsfaktoren  $w_i$  am Ausgang des Beamformers mit den jeweils zugehörigen Signalen der Antennenausgänge; Addition dieser gewichteten Signale zu einem Gesamtempfangssignal in einem Summierer; Ausbildung der gewünschten  
30 Richtcharakteristik. Für die Bestimmung der Antennengewichte (Gewichtungsfaktoren) wird eine – für Empfänger und Sender bekannte – Trainingssequenz (Pilotsignal) benötigt, die in kurzen Abständen immer wieder gesendet werden muß (als Bestandteil des Synchronisationssignals).

Am Empfänger wird die Differenz zwischen dem empfangenen Signal und dem dem Empfänger bekannten Pilotsignal/Trainingssequenz berechnet, die idealerweise Null sein sollte. Dies wird dadurch erreicht, indem die Antennengewichte so geregelt werden, daß der Fehler klein wird. Bei  
5 minimalem Fehler ist das Antennenarray auf das gewünschte Signal adaptiert und wird optimal empfangen. Zwischen den für das Pilotsignal/die Trainingssequenz vorgesehenen Zeitintervallen werden die unbekannten Nutzdaten gesendet. Während dieser Zeit wird der Adaptionsmechanismus durch Schalter abgeschaltet, da es sonst zu einer Fehladaptation kommen  
10 würde. Die Antennengewichte werden in dieser Zeit konstant gehalten mit der Annahme, daß sich in dieser Zeit die Übertragungseigenschaften des Mobilfunkkanals nicht ändern, während des nächsten Zeitintervalls für das Pilotsignal/die Trainingssequenz werden sie wieder angeglichen. Dem beschriebenen Verfahren liegt ein Algorithmus zugrunde, der die Minimierung  
15 des Fehlers zwischen Empfangssignal und Pilotsignal zum Ziel hat. Die in EP 0 883 207 dargestellte Anordnung weist Antennenelemente, an die sich ein Basisband-Mischer zur Demodulation der eingegangenen Signale anschließt, einen Beamformer zur Bestimmung der Antennengewichte und ein Summierglied zur Bildung eines Gesamtempfangskanals auf. Weiterhin  
20 sind zur Durchführung des eben beschriebenen Verfahrens Mittel zur Erzeugung der Trainingssequenz (des Pilotsignals) vorgesehen sowie Schalter, die den Adaptionsmechanismus während des Sendens von Nutzdaten zwischen den Bursts abschalten.

25 Auf Pilotsignalen basierende Systeme benötigen immer eine gewisse Adaptionszeit bis der Fehler zwischen Pilotsignal (Soll) und Empfangssignal (Ist) minimal wird. Nachteilig erweist sich dann, daß in dieser Zeit die Empfangseigenschaften sehr schlecht sind und ein erheblicher Teil (ca. 20 %) der Übertragungskapazität für das Versenden des Pilotsignals erforderlich  
30 ist.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren zur Erzeugung vorgegebener Richtcharakteristiken von adaptiven Gruppenantennen in

drahtlosen Mobilfunksystemen sowie eine Anordnung zur Durchführung des Verfahrens anzugeben, bei dem eingehende Störsignale sicher unterdrückt werden, eine größere Übertragungskapazität der Funkverbindung erzielt und gleichzeitig die Qualität des Empfangssignals verbessert wird.

5

Die Aufgabe wird erfindungsgemäß durch ein Verfahren der eingangs genannten Art dadurch gelöst, daß für die Bestimmung der Gewichtungsfaktoren für die einzelnen Signale zunächst die Einfallswinkel der Nutz- und Störsignale aus einer DoA-Schätzung (DoA - [Direction of Arrival] Empfangsrichtung) durch Signalanalyse ermittelt werden, dann die vorher in den Verfahrensschritten Empfang der Nutz- und Störsignale und Bestimmung der Einfallswinkel dieser Signale ermittelten Informationen in einen Beamformer (Strahlformer) geleitet werden und hier eine Selektion (Trennung) von Nutzsignal und Störsignalen nach den vorher ermittelten Signaleinfallswinkeln und unter Einbeziehung der im eigenen Kommunikationssystem getroffenen Festlegungen zu Nutz- und Störsignalen durchgeführt wird, danach das Nutzsignal durch einen Signalverstärker verstärkt wird und parallel hierzu die Anzahl der Störsignale nach der Leistung der selben (Störsignale unterhalb eines vorgegebenen Mindestwertes entfallen) begrenzt wird, anschließend eine digitale Signalverarbeitung - Bildung einer Koeffizientenmatrix

$$A = \begin{pmatrix} a_{1,1} & a_{1,2} & \dots & a_{1,m+1} \\ a_{2,1} & a_{2,2} & \dots & a_{2,m+1} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ a_{m+1,1} & a_{m+1,2} & \dots & a_{m+1,m+1} \end{pmatrix}$$

zur Lösung der Gleichung

25

$$H(e^{j\omega}) = \sum_{l=1}^{m+1} b_l \cdot Q(e^{j(\omega-\omega_l)})$$

mit  $a_{k,l} = Q(e^{j(\omega_k-\omega_l)})$ ,

wobei  $H$  allgemein die Richtcharakteristik darstellt,  
 $Q$  die Richtcharakteristik für den Einfallswinkel  $\theta = 0$  ist,

30

$\omega = \pi \cdot \sin \theta$  die Raumfrequenz ("Richtung") der Stör- bzw. Nutzsignale darstellt,

bei Erfüllung der Bedingungen

5

$$H(e^{j\omega_k}) = \begin{cases} 0 & \text{für } 1 \leq k \leq m, \text{ für die Störsignale} \\ 1 & \text{für } k = m + 1, \text{ für das Nutzsignal} \end{cases}$$

erfolgt und das Gleichungssystem durch Matrixinvertierung

$$A \cdot \begin{pmatrix} b_1 \\ b_2 \\ \vdots \\ b_{m+1} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ \vdots \\ 1 \end{pmatrix}$$

- 10 mittels Gauß-Algorithmus zur Bestimmung der Koeffizienten  $b_k$ , gelöst wird und abschließend die Gewichtungsfaktoren  $w_i$  aus

$$w_i = \sum_{k=1}^{m+1} b_k \cdot e^{-j \cdot l \cdot \omega_k} \text{ bestimmt werden.}$$

- 15 Die Bestimmung der Anzahl der eingehenden Signale, ihrer Leistung und ihrer Einfallsrichtung erfolgt vorteilhafterweise durch eine Eigenwertzerlegung der Kovarianzmatrix dieser Signale.

- 20 Für die Selektion der einfallenden Signale in Nutz- und Störsignale werden zusätzliche Informationen aus der Signalisierung des eigenen Kommunikationssystems bereitgestellt (zeitlich variable Festlegung, welche Signale als Störsignale und welches als Nutzsignal anzusehen ist).

- 25 Bei einem Antennenarray mit N Antennenelementen können maximal N - 1 Störsignale durch Ausbildung von je einer Nullstelle unterdrückt werden, wenn die Leistung eines Störsignals einen festgelegten Wert überschreitet.

Die Signalverarbeitung erfolgt durch Bildung einer Koeffizientenmatrix, die anhand der Bedingung



$$H(e^{j\omega_k}) = \begin{cases} 0 & \text{für } 1 \leq k \leq m, \\ 1 & \text{für } k = m + 1, \end{cases} \quad \begin{array}{l} \text{für die Störsignale} \\ \text{für das Nutzsignal} \end{array}$$

mit  $\omega_{m+1} = \omega_0$  aufgestellt wird.

Bei einer Anordnung zur Durchführung des Verfahrens zur Erzeugung  
5 vorgegebener Richtcharakteristiken von adaptiven Gruppenantennen  
drahtloser Mobilfunkgeräte der eingangs genannten Art sind  
erfindungsgemäß zwischen Basisband-Mischer und Beamformer Mittel zur  
Bestimmung der Einfallswinkel von Nutz- und Störsignalen aus einer DoA-  
Schätzung angeordnet und der Beamformer bestimmt gemäß Anspruch 1 die  
10 Antennengewichte für die einzelnen Signale aus Informationen zur Anzahl der  
eingehenden Signale und zur DoA-Schätzung (Richtungsschätzung).

Der Beamformer weist einen digitalen Signalprozessor (DSP) zur Realisierung  
aller im Beamformer ablaufenden Prozesse auf. Für die Summierung zur  
15 Bildung des Gesamtempfangssignals ist entweder eine an sich bekannte  
analoge Summierschaltung oder ein digitaler Signalprozessor (DSP)  
vorgesehen.

Die Erfindung ermöglicht mit geringem apparativen und numerischen  
20 Aufwand die Erzeugung einer Richtcharakteristik, bei der sowohl die Richtung  
des globalen Maxima als auch die Richtungen der Nullstellen vorgegeben  
werden können. Weiterhin ist die Anzahl der vorzugebenden Nullstellen nicht  
festgelegt, vielmehr kann eine zwischen 0 und N -1 variable Anzahl an  
Nullstellen vorgegeben werden, dabei steht N für die Anzahl der verwendeten  
25 Antennenelemente. Somit ist eine deutlich bessere Anpassung der  
Richtcharakteristik an die Umgebungssituation möglich. Gleichzeitig wird eine  
größere Übertragungskapazität der Funkverbindung im Vergleich zu aus dem  
Stand der Technik bekannten Lösungen erzielt.

30 Die Erfindung wird nachstehend an einem Ausführungsbeispiel anhand der  
zugehörigen Zeichnung näher erläutert. Es zeigen:

Figur 1 Blocksaltbild einer adaptiven Antenne;

Figur 2 Blocksaltbild eines Beamformers.

Fig. 1 zeigt das Blocksaltbild einer adaptiven Antenne. Die Empfangssignale der N Antennenelemente  $x_1 \dots x_n$  werden mittels eines Mischers in das Basisband verschoben, d.h. das Trägersignal wird entfernt (Demodulation) und nur noch das komplexe Modulationssignal betrachtet. Diese Signale werden mit den im Beamformer gebildeten Gewichtungsfaktoren  $w_i$  multipliziert und die dadurch entstehenden Signale anschließend zu dem Gesamt Empfangssignal addiert. Zur Ermittlung der optimalen Gewichtungsfaktoren ist eine Richtungsschätzung und anschließend eine Beamformung (Strahlformung) notwendig.

Um Störsignale von den gewünschten Nutzsignalen mittels eines Beamformers trennen zu können, müssen die Einfallsrichtungen  $\theta_i$  aller am Antennenarray auftreffenden Wellen (Signale) bekannt sein.

Überstreicht eine ebene Welle  $s(t)$  ein Array mit äquidistant angeordneten N Empfangs-Elementen mit dem Elementenabstand  $d$  (lineares Array) unter dem Winkel  $\theta$ , erreicht das Signal jedes einzelne Element mit einer Wegdifferenz  $\Delta s$ . Diese Wegdifferenz hat bei der Ausbreitungsgeschwindigkeit  $c$  (Lichtgeschwindigkeit) eine Zeitverzögerung von

$$\tau = \frac{d}{c} \sin \theta$$

zur Folge. Für schmalbandige Signale,

$$\frac{1}{B_{\text{Signal}}} \gg \frac{(N-1) \cdot d}{c},$$

kann das Signal als konstant betrachtet werden, während es das Array überstreicht. Folglich kann diese Zeitverzögerung als komplexer Phasenfaktor angenähert werden:

$$s(t - \tau) \approx s(t) \cdot e^{-j \cdot 2\pi f_0 \cdot \tau},$$

wobei  $f_0$  die Carrierfrequenz (Trägerfrequenz) darstellt.

Aufgrund der äquidistanten Anordnung der Elemente besteht zwischen den einzelnen Signalen der Elemente eine feste, von  $\theta$  abhängige Beziehung der  
 5 Phasenfaktoren. Das Eingangssignal des  $l$ -ten Elements (am  $l$ -ten Element einfallende Welle) kann mit

$$s_l(t) = s_1(t) \cdot e^{-j2\pi \frac{(l-1)d}{c} f_0 \sin \theta}$$

angegeben werden. Unter Ausnutzung dieser Verhältnisse kann durch Analyse der Signale aller Elemente auf die Einfallsrichtungen der Wellen  
 10 geschlossen werden. Da weder die Anzahl der eintreffenden Wellen noch deren Einfallsrichtungen bekannt sind, muß zunächst die Anzahl der Wellen bestimmt und anschließend deren Richtung ermittelt werden. Unter realen Bedingungen treten jedoch Störungen durch Rauschen und Ungenauigkeiten an den Antennenelementen auf, weshalb hier von einer Richtungsschätzung  
 15 die Rede ist. Bekannte Verfahren zur Richtungsschätzung sind "MUSIC" (Multiple Emitter Location and Spectral Estimation - örtliche Festlegung der Mehrfach-Strahlung und spektrale Schätzung) s. R.O. Schmidt: "A Signal Subspace Approach to Multiple Emitter Location and Spectral Estimation", ph. D. thesis, Stanford University, Stanford, CA, November 1981 und "ESPRIT"  
 20 (Estimation of Signal Parameters via Rotational Invariance Techniques - Schätzung von Signalparametern über Rotations-Invarianz-Bestimmung), s. R. Roy, T. Kailath: "ESPRIT-Estimation of Signal Parameters Via Rotational Invariance Techniques", IEEE Transactions on Acoustics, Speech, and Signal Processing, vol. 37, No. 7, pp 984 - 995, Juli 1989).

25

Diese Verfahren beruhen auf einer Eigenwertzerlegung der Kovarianzmatrix der einfallenden Wellen (Signale)  $s_l(t)$ . Als Ausgangsgrößen dieser Vorgänge stehen die Anzahl der eintreffenden Wellen sowie deren Amplitude und Einfallsrichtung zur Verfügung. Zur Formung einer geeigneten  
 30 Richtcharakteristik werden noch zusätzlich Informationen bezüglich der Nutz- bzw. Störsignale benötigt. Diese Informationen werden von der Steuersignalisierung des eigenen Kommunikationssystems als Festlegung

(zeitlich variabel) der Störsignale und des Nutzsignals bereitgestellt. Die erhaltenen Informationen über die Einfallswinkel sowie zu den Nutz- und Störsignalen werden als Eingangssignale dem Beamformer zugeleitet.

5 In Fig. 2 ist das Blockschaltbild eines Beamformers dargestellt. Die Unterteilung in die einzelnen Funktionsblöcke wurde aus algorithmischer Sicht vorgenommen, weshalb eine Gleichsetzung dieser Blöcke mit konkreten technischen Funktionseinheiten nicht möglich ist. Zur Realisierung des Beamformers wird ein digitaler Signalprozessor (DSP) verwendet, der alle im  
10 Blockschaltbild aufgeführten Funktionen realisiert. Aufbauend auf den vorstehend angegebenen Eingangssignalen des Beamformers erfolgt eine Selektion des Nutzsignals und der Störsignale. Dabei selektiert der Block "Nutzsignalselektion" den Einfallswinkel des Nutzsignals und führt dieses als Richtungssignal  $\omega$  dem Block zur Erzeugung der Koeffizientenmatrix zu.  
15 Äquivalent dazu verfährt der Block "Störsignalselektion", indem er die Einfallswinkel der Störsignale selektiert und diese als Richtungssignale  $\omega_k$  zunächst einem Block zur Begrenzung der Anzahl der Störsignale zuführt. Hintergrund dieser Begrenzung ist die Tatsache, daß mit einem Antennenarray bestehend aus N Antennenelementen maximal N-1  
20 Störsignale mittels einer Nullstelle unterdrückt werden können. Um eine möglichst präzise Richtcharakteristik zu erhalten und den numerischen Aufwand zu minimieren, sollte die Anzahl der Nullstellen auf das notwendige Mindestmaß beschränkt werden. Das heißt, es werden nur dann Nullstellen ausgebildet, wenn die Leistung des Störsignals einen vorher festgelegten  
25 Wert übersteigt. Dieser Wert hängt von dem konkreten Kommunikationssystem ab und kann als freier Parameter an jedes beliebige System angepaßt werden.

Die Selektion der Nutz- bzw. Störsignale erfolgt in nachstehend aufgeführten  
30 Schritten:

Aus der vorhergehenden Bestimmung der Einfallsrichtung der Signale sind sowohl die Einfallswinkel des Nutzsignals als Richtungssignal  $\omega_0$  als auch die Einfallswinkel der Störsignale als Richtungssignale  $\omega_k$  mit  $1 \leq k \leq N-1$  bekannt, wobei N der Anzahl der verwendeten Antennenelemente entspricht.

- 5 Es wird ein Beamplattenn (Richtcharakteristik) gebildet, welches die folgenden Bedingungen erfüllt:

a) Maximum der Richtcharakteristik in Richtung des Nutzsignals

$$H(e^{j\omega_0}) = 1,$$

- 10 wobei H für die Richtcharakteristik steht.

b) Nullstellen der Richtcharakteristik in Richtung der Störsignale

$$H(e^{j\omega_k}) = 0 \text{ für } 1 \leq k \leq m; m \leq N-1$$

c) die Gesamtleistung soll minimal sein

15 
$$\frac{1}{2\pi} \int_{-\pi}^{\pi} |H(e^{j\omega})|^2 d\omega = \min$$

dabei entspricht m der Anzahl der zu bildenden Nullstellen. Dazu wird zunächst die Grundfunktion

$$Q(e^{j\omega}) = \sum_{k=0}^{N-1} e^{j \cdot k \cdot \omega} = \frac{1 - e^{jN\omega}}{1 - e^{j\omega}}$$

20

betrachtet, wobei Q die Richtcharakteristik in Richtung  $\theta = 0$  darstellt. Mit den m Nullstellen, den Richtungssignalen  $\omega_1 \dots \omega_m$ , und dem Hauptrichtungssignal  $\omega_0$ , das mit  $\omega_{m+1} = \omega_0$  angesetzt wird, entsteht die folgende allgemeine Richtcharakteristik:

25

$$H(e^{j\omega}) = \sum_{k=1}^{m+1} b_k \cdot Q(e^{j(\omega - \omega_k)})$$

Ziel ist es, die Koeffizienten  $b_k$  so zu bestimmen, daß die aufgestellten Randbedingungen bezüglich  $\omega_k$  und  $\omega_*$  erfüllt werden

$$H(e^{j\omega_k}) = \begin{cases} 0 & \text{für } 1 \leq k \leq m \quad \text{für die Störsignale} \\ 1 & \text{für } k = m+1 \quad \text{für das Nutzsignal} \end{cases}$$

5

mit  $\omega_{m+1} = \omega_*$ . Die im nächsten Block gebildete Koeffizientenmatrix ergibt sich somit zu

$$A = \begin{pmatrix} a_{1,1} & a_{1,2} & \dots & a_{1,m+1} \\ a_{2,1} & a_{2,2} & \dots & a_{2,m+1} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ a_{m+1,1} & a_{m+1,2} & \dots & a_{m+1,m+1} \end{pmatrix}$$

10 mit den Elementen  $A = \{a_{k,l}\} \quad 1 \leq k,l \leq m+1$ ,

$$\text{mit } a_{k,l} = Q(e^{j(\omega_k - \omega_l)})$$

Durch die Matrixinvertierung ergibt sich das Gleichungssystem

$$A \cdot \begin{pmatrix} b \\ b_2 \\ \vdots \\ b_{m+1} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ \vdots \\ 1 \end{pmatrix}$$

15 das mit dem Gauß-Algorithmus zu Bestimmung der Koeffizienten  $b_l$  gelöst wird (nächster Block). Dieser Algorithmus ist ein Standardverfahren zum numerischen Lösen von Gleichungssystemen. Als Resultat kann bewiesen werden, daß  $|\det A| > 0$  ist. Dies bedeutet, es existiert stets eine eindeutige Lösung des Gleichungssystems, die den aufgestellten Randbedingungen  
20 genügt.

Aus der Lösung des Gleichungssystems ergeben sich die Koeffizienten  $b_k$ . Die Antennengewichte  $w_l$  ergeben sich hieraus zu:

$$w_l = \sum_{k=1}^{m+1} b_k \cdot e^{-j \cdot k \cdot \omega_k}$$

Daraus ergibt sich die Richtcharakteristik zu:

$$H(e^{j\omega}) = \sum_{l=1}^N w_l \cdot e^{j(l-1)\omega}$$

- Die so ermittelten Gewichtungsfaktoren  $w_l$  bilden die Ausgangssignale des Beamformers. Sie werden in einem Multiplikator mit den jeweils zugehörigen Signalen der einzelnen Antennenelemente multipliziert. Diese gewichteten Signale werden in einem Summierglied der adaptiven Antenne zu einem Gesamt Empfangssignal umgeformt. Diese Summierung kann entweder analog in einer bekannten Summierschaltung oder digital in einem DSP erfolgen.

Nachfolgend nun ein konkretes Zahlenbeispiel für die Ermittlung der Antennengewichte:

- Da die Erfindung die Formung der Richtcharakteristik betrifft, wird in diesem Beispiel nicht auf die Richtungsschätzung eingegangen. Die Einfallswinkel werden wie folgt vorausgesetzt:

Signal-Nr.	Einfallswinkel in rad	Amplitude normiert
1	$-\pi/2$	0,8
2	0	1
3	$3 \cdot -\pi/4$	0,7
4	$-\pi/3$	0,001

- Aus der Signalisierung des Kommunikationssystems wird die Information bereitgestellt, daß Signal Nr. 2 das zu selektierende Nutzsignal ist und alle weiteren Signale Störsignale sind. Somit wird folgende Selektion getroffen:

- Hauptrichtung:  $\omega_s = 0$

- Nullstellen:  $\omega_1 = -\pi/2, \omega_2 = 3 \cdot \pi/4, \omega_3 = \pi/3$

Als Antenne soll ein Array aus  $N = 4$  Elementen verwendet werden. Mit diesem Array wäre eine Bildung von  $N - 1$ , also 3 Nullstellen möglich. Aus dieser Sicht ist eine Begrenzung der Anzahl der Störsignale nicht notwendig. Da das Signal Nr. 4 eine sehr kleine Amplitude aufweist, sind von diesem Signal keine relevanten Störungen zu erwarten. Um den numerischen Aufwand zu minimieren und die Qualität der Richtungscharakteristik zu erhöhen, wird das Signal Nr. 4 nicht mit einer Nullstelle ausgelöscht. Mit  $\omega_{m+1} = \omega_s$  ergeben sich die Randbedingungen zu:

$$H(e^{j\omega_k}) = \begin{cases} 0 & \text{für } k = 1 \text{ und } k = 2 \\ 1 & \text{für } k = 3 \end{cases} \quad \begin{array}{l} \text{für die Störsignale} \\ \text{für das Nutzsignal} \end{array}$$

Die Koeffizientenmatrix wird wie folgt aufgestellt:

$$A = \begin{pmatrix} Q(e^{j(\omega_1 - \omega_1)}) & Q(e^{j(\omega_1 - \omega_2)}) & Q(e^{j(\omega_1 - \omega_3)}) \\ Q(e^{j(\omega_2 - \omega_1)}) & Q(e^{j(\omega_2 - \omega_2)}) & Q(e^{j(\omega_2 - \omega_3)}) \\ Q(e^{j(\omega_3 - \omega_1)}) & Q(e^{j(\omega_3 - \omega_2)}) & Q(e^{j(\omega_3 - \omega_3)}) \end{pmatrix}$$

$$= \begin{pmatrix} 4,0 & 1,0 + 0,41i & 0,0 \\ 1,0 - 0,41i & 4,0 & 1,0 + 0,41i \\ 0,0 & 1,0 - 0,41i & 4,0 \end{pmatrix}$$

Die Lösung des Gleichungssystems der invertierten Matrix liefert für  $b_k$

$$b_1 = 0,015 + 0,015i$$

$$b_2 = -0,073 - 0,030i$$

$$b_3 = 0,271447 + 0,0i$$

Unter Verwendung der Gleichung



$$w_l = \sum_{k=1}^{m+1} b_k \cdot e^{-j \cdot k \cdot \omega_k}$$

ergeben sich die Antennengewichte  $w_l$  zu:

$$w_1 = 0,213 - 0,015i$$

$$w_2 = 0,286 + 0,088i$$

$$5 \quad w_3 = 0,286 - 0,088i$$

$$w_4 = 0,213 + 0,015i$$

Diese Antennengewichte (bzw. Gewichtungsfaktoren)  $w_1 - w_4$  bilden die Ausgangssignale des Beamformers. In der adaptiven Antenne werden sie in  
10 einem Multiplikator mit den zugehörigen Signalen der einzelnen Antennenelemente multipliziert. Aus diesen so gebildeten gewichteten Signalen wird abschließend durch ein Summierungsglied der adaptiven Antenne ein Gesamt Empfangssignal geformt.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Erzeugung vorgegebener Richtcharakteristiken von adaptiven Gruppenantennen drahtloser Mobilfunksysteme, umfassend die Verfahrensschritte Empfang der Nutz- und Störsignale durch N Antennenelemente ( $x_1 \dots x_N$ ), Bestimmung der Anzahl der eingehenden Signale; Bestimmung der Gewichtungsfaktoren für die einzelnen Signale in einem „Beamformer“ (Strahlformer); Multiplikation der Gewichtungsfaktoren  $w_i$  am Ausgang des Beamformers mit den jeweils zugehörigen Signalen der Antennenausgänge; Addition dieser gewichteten Signale zu einem Gesamtempfangssignal in einem Summierer; Ausbildung der gewünschten Richtcharakteristik,
- dadurch gekennzeichnet, daß
- für die Bestimmung der Gewichtungsfaktoren für die einzelnen Signale zunächst die Einfallswinkel der Nutz- und Störsignale aus einer DoA-Schätzung durch Signalanalyse ermittelt werden, dann die vorher in den Verfahrensschritten Empfang der Nutz- und Störsignale und Bestimmung der Einfallswinkel dieser Signale ermittelten Informationen in den Beamformer“ (Strahlformer) geleitet werden und hier eine Selektion (Trennung) von Nutzsignal und Störsignalen (max.  $N - 1$ ) nach den vorher ermittelten Signaleinfallswinkeln unter Einbeziehung der im eigenen Kommunikationssystem getroffenen Festlegungen zu Nutz- und Störsignalen durchgeführt wird, danach das Nutzsignal durch einen Signalverstärker verstärkt wird und gleichzeitig die Anzahl der Störsignale nach der Leistung derselben (Störsignale unterhalb eines vorgegebenen Mindestwertes entfallen) begrenzt wird, anschließend eine digitale Signalverarbeitung - Bildung einer Koeffizientenmatrix

$$A = \begin{pmatrix} a_{1,1} & a_{1,2} & \dots & a_{1,m+1} \\ a_{2,1} & a_{2,2} & \dots & a_{2,m+1} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ a_{m+1,1} & a_{m+1,2} & \dots & a_{m+1,m+1} \end{pmatrix}$$

zur Lösung der Gleichung

$$H(e^{j\omega}) = \sum_{l=1}^{m+1} b_l \cdot Q(e^{j(\omega-\omega_l)})$$

5 mit  $a_{k,l} = Q e^{j(\omega_k - \omega_l)}$ ,

wobei  $H$  allgemein die Richtcharakteristik darstellt,

$Q$  die Richtcharakteristik für den Einfallswinkel  $\theta = 0$  ist,

$\omega = \pi \cdot \sin \theta$  die Raumfrequenz ("Richtung") der Stör- bzw. Nutzsignale darstellt,

10

bei Erfüllung der Bedingungen

$$H(e^{j\omega_k}) = \begin{cases} 0 & \text{für } 1 \leq k \leq m, & \text{für die Störsignale} \\ 1 & \text{für } k = m+1, & \text{für das Nutzsignal} \end{cases}$$

erfolgt und

15 das Gleichungssystem durch Matrixinvertierung

$$A \cdot \begin{pmatrix} b_1 \\ b_2 \\ \vdots \\ b_{m+1} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ \vdots \\ 1 \end{pmatrix}$$

mittels Gauß-Algorithmus zur Bestimmung der Koeffizienten  $b_k$  gelöst wird und abschließend die Gewichtungsfaktoren  $w_l$  aus

20 
$$w_l = \sum_{k=1}^{m+1} b_k \cdot e^{-j \cdot l \cdot \omega_k}$$

bestimmt werden.

2. Verfahren nach Anspruch 1,

dadurch gekennzeichnet, daß

25 zur Bestimmung der Anzahl der eingehenden Signale (einfallende Wellen), ihrer Leistung und ihrer Einfallsrichtung eine Eigenwertzerlegung der Kovarianzmatrix dieser Signale  $s_l(t)$  erfolgt.

3. Verfahren nach Anspruch 1,  
dadurch gekennzeichnet, daß  
bei einem Antennenarray, bestehend aus N Antennenelementen maximal N -  
1 Störsignale mittels je einer Nullstelle unterdrückt werden, wobei nur dann  
5 Nullstellen ausgebildet werden, wenn die Leistung eines Störsignals einen  
festgelegten Wert übersteigt.

4. Anordnung zur Durchführung des Verfahrens zur Erzeugung vorgegebener  
Richtcharakteristiken von adaptiven Gruppenantennen drahtloser  
10 Mobilfunksysteme, aufweisend Antennenelemente, an die sich ein Basisband-  
Mischer zur Demodulation der eingegangenen Signale anschließt, einen  
Beamformer zur Bestimmung der Antennengewichte und ein Summierglied  
zur Bildung eines Gesamtempfangssignals  
dadurch gekennzeichnet, daß  
15 zwischen Basisband-Mischer und Beamformer Mittel zur Bestimmung der  
Einfallswinkel von Nutz- und Störsignalen aus einer DoA-Schätzung  
angeordnet sind und der Beamformer gemäß Anspruch 1 die  
Antennengewichte für die einzelnen Signale aus Informationen zur Anzahl der  
eingehenden Signale und zur DoA-Schätzung (Richtungsschätzung)  
20 bestimmt.

5. Anordnung nach Anspruch 4,  
dadurch gekennzeichnet, daß  
der Beamformer einen digitalen Signalprozessor (DSP) aufweist zur  
25 Realisierung aller im Beamformer ablaufenden Prozesse.

6. Anordnung nach Anspruch 4,  
dadurch gekennzeichnet, daß  
für die Summierung zur Bildung des Gesamtempfangssignals eine an sich  
30 bekannte analoge Summierschaltung oder ein digitaler Signalprozessor (DSP)  
vorgesehen ist.

1/2

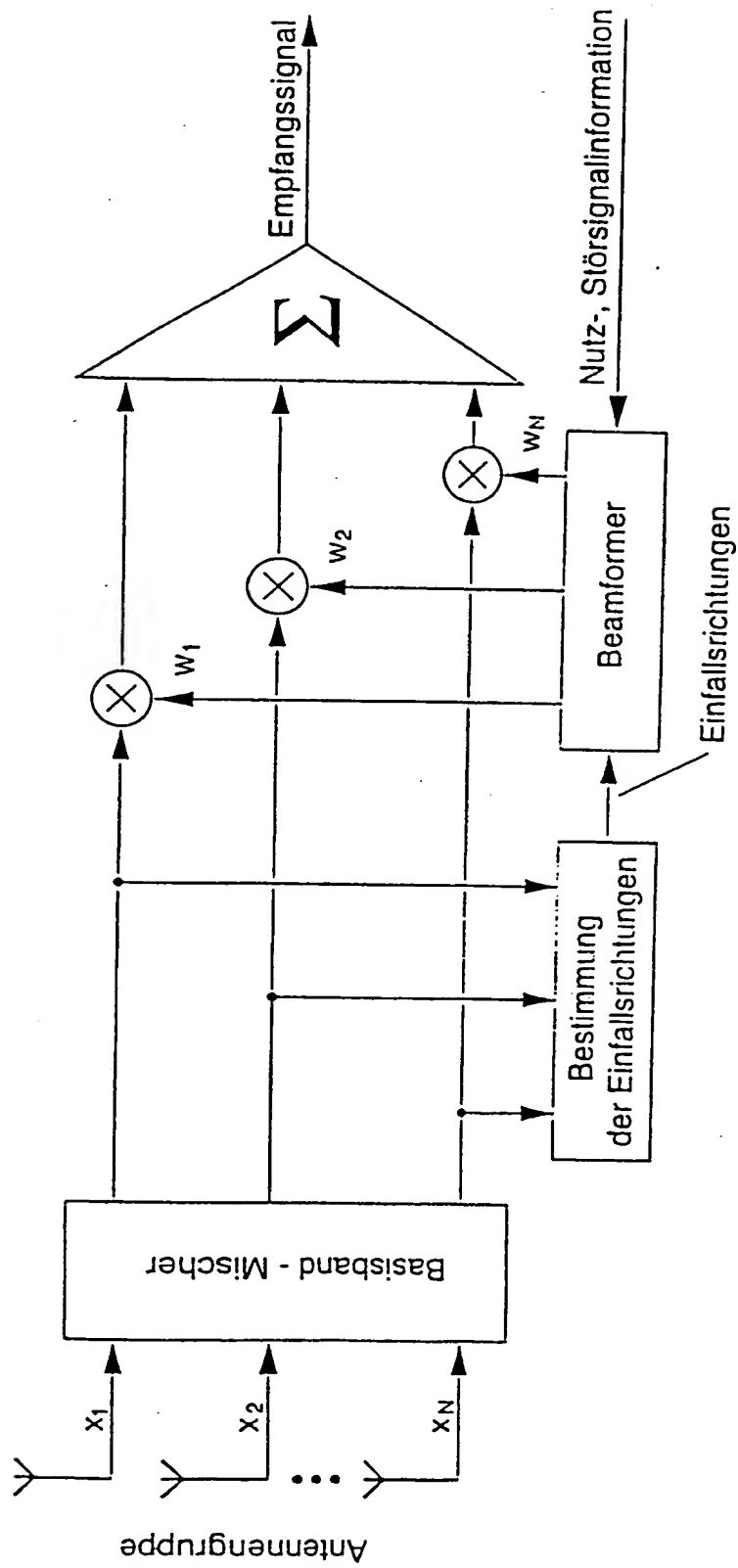


Fig. 1

2/2

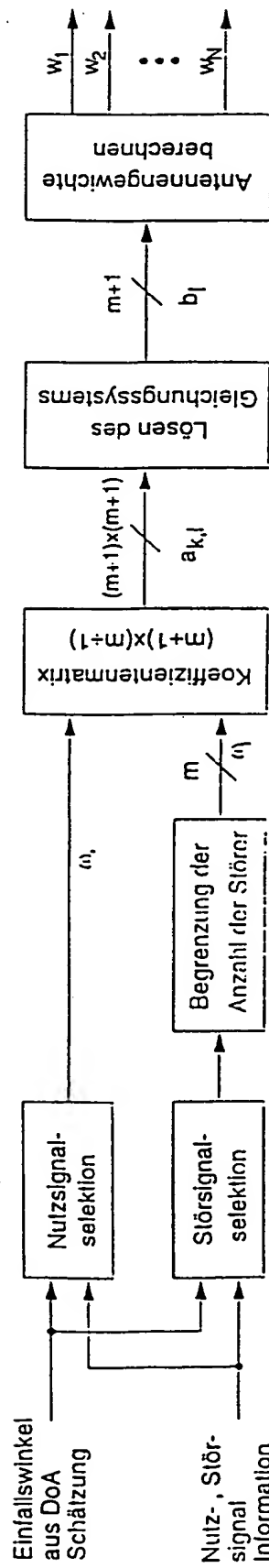


Fig. 2

(51) Internationale Patentklassifikation <sup>7</sup> :

H04B 7/08, H01Q 3/26

A3

(11) Internationale Veröffentlichungsnummer: WO 00/35116

(43) Internationales

Veröffentlichungsdatum:

15. Juni 2000 (15.06.00)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/DE99/04031

(22) Internationales Anmeldedatum: 10. Dezember 1999  
(10.12.99)(30) Prioritätsdaten:  
198 58 951.4 10. Dezember 1998 (10.12.98) DE(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten ausser US): HEIN-  
RICH-HERTZ-INSTITUT FÜR NACHRICHTENTECH-  
NIK BERLIN GMBH [DE/DE]; Einsteinufer 37, D-10587  
Berlin (DE).

(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): BOCHE, Holger  
[DE/DE]; Dönhoffstrasse 36a, D-10318 Berlin (DE).  
BRONZEL, Marcus, J. [DE/DE]; Eisenacher Strasse 17,  
D-01309 Dresden (DE). KUHWARD, Thomas [DE/DE];  
Theobald-Renner-Strasse 28, D-07747 Jena (DE).(81) Bestimmungsstaaten: AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG,  
BR, BY, CA, CH, CN, CU, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, GB,  
GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG,  
KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MD, MG, MK,  
MN, MW, MX, NO, NZ, PL, PT, RO, RU, SD, SE, SG, SI,  
SK, SL, TJ, TM, TR, TT, UA, UG, US, UZ, VN, YU, ZW,  
ARIPO Patent (GH, GM, KE, LS, MW, SD, SL, SZ, TZ,  
UG, ZW), eurasisches Patent (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD,  
RU, TJ, TM), europäisches Patent (AT, BE, CH, CY, DE,  
DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE),  
OAPI Patent (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GW, ML,  
MR, NE, SN, TD, TG).

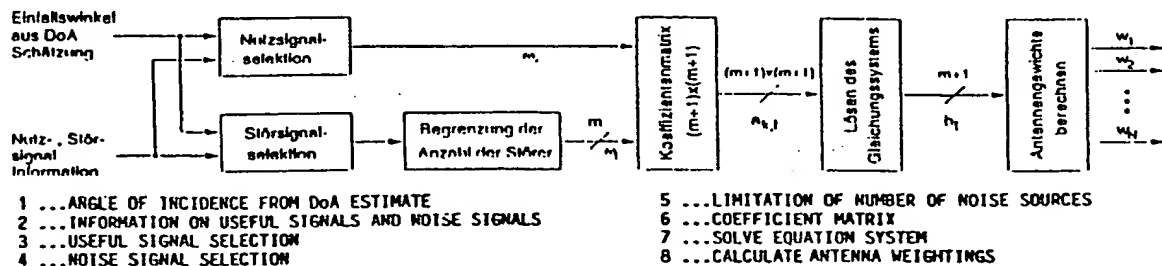
Veröffentlicht

Mit internationalem Recherchenbericht.

(88) Veröffentlichungsdatum des internationalen Recherchen-  
berichts: 10. August 2000 (10.08.00)

(54) Title: METHOD AND SYSTEM FOR GENERATING DEFINED DIRECTIONAL CHARACTERISTICS

(54) Bezeichnung: VERFAHREN UND ANORDNUNG ZUR ERZEUGUNG VORGEGEBENER RICHTCHARAKTERISTIKEN



(57) Abstract

The invention relates to a method and a system for generating defined directional characteristics of adaptive array antennas in wireless mobile telephone systems. The invention aims to provide a solution which reliably suppresses incoming noise signals, increases the transmission capacity of the radio communications link and improves the quality of the received signal. To this end, the invention provides for a method consisting of the following steps: reception of the useful signals and noise signals; determination of the angle of incidence of the useful signals and noise signals by an estimation of their direction; separation of useful and noise signals; restriction of the number of noise signals; determination of the weighting factors ( $W_1$ - $W_N$ ) for the individual signals ( $X_1$ - $X_N$ ); and combination of the signals weighted using said weighting factors to obtain a total received signal.

(57) Zusammenfassung

Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Anordnung zur Erzeugung vorgegebener Richtcharakteristiken von adaptiven Gruppenantennen in drahtlosen Mobilfunksystemen. Es soll eine Lösung angegeben werden, bei der eingehende Störsignale sicher unterdrückt werden, eine größere Übertragungskapazität der Funkverbindung erzielt und gleichzeitig die Qualität des Empfangssignals verbessert wird. Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß durch ein Verfahren mit nachstehend angegebenen Schritten gelöst: Empfang der Nutz- und Störsignale; Bestimmung der Anzahl der eingehenden Signale; Bestimmung der Einfallswinkel der Nutz- und Störsignale durch eine Richtungsschätzung; Trennung von Nutz- und Störsignalen; Begrenzung der Anzahl der Störsignale; Bestimmung der Gewichtungsfaktoren ( $W_1$ - $W_N$ ) für die einzelnen Signale ( $X_1$ - $X_N$ ); Zusammenfassung der mit den Gewichtungsfaktoren gewichteten Signale zu einem Gesamtempfangssignal.

### LEDIGLICH ZUR INFORMATION

Codes zur Identifizierung von PCT-Vertragsstaaten auf den Kopfbögen der Schriften, die internationale Anmeldungen gemäss dem PCT veröffentlichen.

AL	Albanien	ES	Spanien	LS	Lesotho	SI	Slowenien
AM	Armenien	FI	Finnland	LT	Litauen	SK	Slowakei
AT	Österreich	FR	Frankreich	LU	Luxemburg	SN	Senegal
AU	Australien	GA	Gabun	LV	Lettland	SZ	Swasiland
AZ	Aserbajdschan	GB	Vereinigtes Königreich	MC	Monaco	TD	Tschad
BA	Bosnien-Herzegowina	GE	Georgien	MD	Republik Moldau	TG	Togo
BB	Barbados	GH	Ghana	MG	Madagaskar	TJ	Tadschikistan
BE	Belgien	GN	Guinea	MK	Die ehemalige jugoslawische Republik Mazedonien	TM	Turkmenistan
BF	Burkina Faso	GR	Griechenland	ML	Mali	TR	Türkei
BG	Bulgarien	HU	Ungarn	MN	Mongolei	TT	Trinidad und Tobago
BJ	Benin	IE	Irland	MR	Mauretanien	UA	Ukraine
BR	Brasilien	IL	Israel	MW	Malawi	UG	Uganda
BY	Belarus	IS	Island	MX	Mexiko	US	Vereinigte Staaten von Amerika
CA	Kanada	IT	Italien	NE	Niger	UZ	Usbekistan
CF	Zentralafrikanische Republik	JP	Japan	NL	Niederlande	VN	Vietnam
CG	Kongo	KE	Kenia	NO	Norwegen	YU	Jugoslawien
CH	Schweiz	KG	Kirgisistan	NZ	Neuseeland	ZW	Zimbabwe
CI	Côte d'Ivoire	KP	Demokratische Volksrepublik Korea	PL	Polen		
CM	Kamerun	KR	Republik Korea	PT	Portugal		
CN	China	KZ	Kasachstan	RO	Rumänien		
CU	Kuba	LC	St. Lucia	RU	Russische Föderation		
CZ	Tschechische Republik	LI	Liechtenstein	SD	Sudan		
DE	Deutschland	LK	Sri Lanka	SE	Schweden		
DK	Dänemark	LR	Liberia	SG	Singapur		
EE	Estland						



# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No  
PCT/DE 99/04031

**A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER**  
IPC 7 H04B7/08 H01Q3/26

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

**B. FIELDS SEARCHED**

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

IPC 7 H04B H01Q

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

**C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT**

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	<p>WON CHEOL LEE ET AL: "Efficient interference suppression using a constrained beamformer for mobile communication"</p> <p>1996 IEEE 4TH INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON SPREAD SPECTRUM TECHNIQUES AND APPLICATIONS PROCEEDINGS. TECHNICAL PROGRAM. (CAT. NO.96TH8210), PROCEEDINGS OF ISSSTA'95 INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON SPREAD SPECTRUM TECHNIQUES AND APPLICATIONS, MAINZ, GERMANY, , pages 282-286 vol.1, XP002137358</p> <p>1996, New York, NY, USA, IEEE, USA ISBN: 0-7803-3567-8</p> <p>page 283, left-hand column, last paragraph</p> <p>-page 285, left-hand column, last line</p> <p style="text-align: center;">-/-</p>	1-6

☒ Further documents are listed in the continuation of box C.

☒ Patent family members are listed in annex.

\* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier document but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.

"A" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

10 May 2000

Date of mailing of the international search report

23/05/2000

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Sieben, S

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

In. ational Application No

PCT/DE 99/04031

## C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	<p>US 4 752 969 A (RILLING KENNETH)  21 June 1988 (1988-06-21)  column 4, line 3 -column 5, line 34;  figures 1,2</p> <p style="text-align: center;">---</p>	1,2,4-6
A	<p>BELL K ET AL: "ADAPTIVE NULLING FOR  MULTIPLE DESIRED SIGNALS BASED ON SIGNAL  WAVEFORM ESTIMATION"  PROCEEDINGS OF THE MILITARY COMMUNICATIONS  CONFERENCE (MILCOM),US,NEW YORK, IEEE,  vol. CONF. 11, 1992, pages 919-923,  XP000356673 ISBN: 0-7803-0586-8  page 919, left-hand column, paragraph 2  -right-hand column, paragraph 1; figure 1  page 920, left-hand column, paragraph 2  page 920, left-hand column, paragraph 5  page 921, left-hand column, line 41 - line  52  page 922, left-hand column, line 43  -right-hand column, line 21</p> <p style="text-align: center;">---</p>	1,3-6
A	<p>EL ZOOGHBY A H ET AL: "Optimum  beamforming for co-channel interference  nulling in mobile satellite  communications"  IEEE ANTENNAS AND PROPAGATION SOCIETY  INTERNATIONAL SYMPOSIUM. 1996 DIGEST. HELD  IN CONJUNCTION WITH: USNC/URSI NATIONAL  RADIO SCIENCE MEETING (CAT. NO.96CH35910),  IEEE ANTENNAS AND PROPAGATION SOCIETY  INTERNATIONAL SYMPOSIUM. 1996 DIGEST,  BALTIMORE,, pages 522-525 vol.1,  XP002137359  1996, New York, NY, USA, IEEE, USA ISBN:  0-7803-3216-4  page 522, paragraph 1 - paragraph 2  page 523, line 30 -page 524, line 6;  figures 1-3</p> <p style="text-align: center;">---</p>	1-6
A	<p>WAHLBERG B G ET AL: "Experimental and  theoretical comparison of some algorithms  for beamforming in single receiver  adaptive arrays"  IEEE TRANSACTIONS ON ANTENNAS AND  PROPAGATION, JAN. 1991, USA,  vol. 39, no. 1, pages 21-28, XP002137360  ISSN: 0018-926X  cited in the application  abstract  page 23, right-hand column, paragraph 3  -page 24, left-hand column, line 40</p> <p style="text-align: center;">---</p> <p style="text-align: center;">-/-</p>	1-6

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

In ational Application No

PCT/DE 99/04031

## C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
P,X	<p>KUHWALD T ET AL: "A constrained beam forming algorithm for 2D planar antenna arrays"</p> <p>GATEWAY TO 21ST CENTURY COMMUNICATIONS VILLAGE. VTC 1999-FALL. IEEE VTS 50TH VEHICULAR TECHNOLOGY CONFERENCE (CAT. NO.99CH36324), GATEWAY TO 21ST CENTURY COMMUNICATIONS VILLAGE. VTC 1999-FALL. IEEE VTS 50TH VEHICULAR TECHNOLOGY CONFERENCE, AMSTERDAM,, pages 1-5 vol.1, XP002137361</p> <p>1999, Piscataway, NJ, USA, IEEE, USA ISBN: 0-7803-5435-4</p> <p>abstract</p> <p>page 3, left-hand column, line 35</p> <p>-right-hand column, last line</p> <p>---</p>	1-6
A	<p>GODARA L C: "APPLICATION OF ANTENNA ARRAYS TO MOBILE COMMUNICATIONS, PART II: BEAM-FORMING AND DIRECTION-OF-ARRIVAL CONSIDERATIONS"</p> <p>PROCEEDINGS OF THE IEEE,US,IEEE. NEW YORK, vol. 85, no. 8,</p> <p>1 August 1997 (1997-08-01), pages 1195-1245, XP000737451</p> <p>ISSN: 0018-9219</p> <p>cited in the application</p> <p>page 1201, right-hand column, line 5 -page 1203, right-hand column, paragraph 6;</p> <p>figure 2</p> <p>-----</p>	1-6

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International Application No

PCT/DE 99/04031

Patent document  
cited in search report

Publication  
date

Patent family  
member(s)

Publication  
date

US 4752969

A

21-06-1988

NONE

# INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PCT/DE 99/04031

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES  
IPK 7 H04B7/08 H01Q3/26

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK

## B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierte Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)

IPK 7 H04B H01Q

Recherchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

## C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	<p>WON CHEOL LEE ET AL: "Efficient interference suppression using a constrained beamformer for mobile communication"</p> <p>1996 IEEE 4TH INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON SPREAD SPECTRUM TECHNIQUES AND APPLICATIONS PROCEEDINGS. TECHNICAL PROGRAM. (CAT. NO.96TH8210), PROCEEDINGS OF ISSSTA'95 INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON SPREAD SPECTRUM TECHNIQUES AND APPLICATIONS, MAINZ, GERMANY, , Seiten 282-286 vol.1, XP002137358</p> <p>1996, New York, NY, USA, IEEE, USA ISBN: 0-7803-3567-8</p> <p>Seite 283, linke Spalte, letzter Absatz</p> <p>-Seite 285, linke Spalte, letzte Zeile</p> <p style="text-align: center;">--- -/-</p>	1-6



Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen



Siehe Anhang Patentfamilie

\* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

"A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

"E" älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

"L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)

"O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

"P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

"T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

"X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden

"Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

"&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

10. Mai 2000

Absenddatum des internationalen Recherchenberichts

23/05/2000

Name und Postanschrift der internationalen Recherchenbehörde

Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Beauftragter

Sieben, S

# INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

In. nationales Aktenzeichen

PCT/DE 99/04031

C.(Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	US 4 752 969 A (RILLING KENNETH) 21. Juni 1988 (1988-06-21) Spalte 4, Zeile 3 -Spalte 5, Zeile 34; Abbildungen 1,2	1,2,4-6
A	BELL K ET AL: "ADAPTIVE NULLING FOR MULTIPLE DESIRED SIGNALS BASED ON SIGNAL WAVEFORM ESTIMATION" PROCEEDINGS OF THE MILITARY COMMUNICATIONS CONFERENCE (MILCOM),US,NEW YORK, IEEE, Bd. CONF. 11, 1992, Seiten 919-923, XP000356673 ISBN: 0-7803-0586-8 Seite 919, linke Spalte, Absatz 2 -rechte Spalte, Absatz 1; Abbildung 1 Seite 920, linke Spalte, Absatz 2 Seite 920, linke Spalte, Absatz 5 Seite 921, linke Spalte, Zeile 41 - Zeile 52 Seite 922, linke Spalte, Zeile 43 -rechte Spalte, Zeile 21	1,3-6
A	EL ZOOGHBY A H ET AL: "Optimum beamforming for co-channel interference nulling in mobile satellite communications" IEEE ANTENNAS AND PROPAGATION SOCIETY INTERNATIONAL SYMPOSIUM. 1996 DIGEST. HELD IN CONJUNCTION WITH: USNC/URSI NATIONAL RADIO SCIENCE MEETING (CAT. NO.96CH35910), IEEE ANTENNAS AND PROPAGATION SOCIETY INTERNATIONAL SYMPOSIUM. 1996 DIGEST, BALTIMORE,, Seiten 522-525 vol.1, XP002137359 1996, New York, NY, USA, IEEE, USA ISBN: 0-7803-3216-4 Seite 522, Absatz 1 - Absatz 2 Seite 523, Zeile 30 -Seite 524, Zeile 6; Abbildungen 1-3	1-6
A	WAHLBERG B G ET AL: "Experimental and theoretical comparison of some algorithms for beamforming in single receiver adaptive arrays" IEEE TRANSACTIONS ON ANTENNAS AND PROPAGATION, JAN. 1991, USA, Bd. 39, Nr. 1, Seiten 21-28, XP002137360 ISSN: 0018-926X in der Anmeldung erwähnt Zusammenfassung Seite 23, rechte Spalte, Absatz 3 -Seite 24, linke Spalte, Zeile 40	1-6

-/--

# INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

In. ationales Aktenzeichen

PCT/DE 99/04031

C.(Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
P,X	<p>KUHWALD T ET AL: "A constrained beam forming algorithm for 2D planar antenna arrays"</p> <p>GATEWAY TO 21ST CENTURY COMMUNICATIONS VILLAGE. VTC 1999-FALL. IEEE VTS 50TH VEHICULAR TECHNOLOGY CONFERENCE (CAT. NO.99CH36324), GATEWAY TO 21ST CENTURY COMMUNICATIONS VILLAGE. VTC 1999-FALL. IEEE VTS 50TH VEHICULAR TECHNOLOGY CONFERENCE, AMSTERDAM,, Seiten 1-5 vol.1, XP002137361</p> <p>1999, Piscataway, NJ, USA, IEEE, USA ISBN: 0-7803-5435-4</p> <p>Zusammenfassung</p> <p>Seite 3, linke Spalte, Zeile 35 -rechte Spalte, letzte Zeile</p>	1-6
A	<p>GODARA L C: "APPLICATION OF ANTENNA ARRAYS TO MOBILE COMMUNICATIONS, PART II: BEAM-FORMING AND DIRECTION-OF-ARRIVAL CONSIDERATIONS"</p> <p>PROCEEDINGS OF THE IEEE,US,IEEE. NEW YORK, Bd. 85, Nr. 8,</p> <p>1. August 1997 (1997-08-01), Seiten 1195-1245, XP000737451</p> <p>ISSN: 0018-9219</p> <p>In der Anmeldung erwähnt</p> <p>Seite 1201, rechte Spalte, Zeile 5 -Seite 1203, rechte Spalte, Absatz 6; Abbildung 2</p>	1-6

# INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/DE 99/04031

Im Recherchenbericht  
angeführtes Patentdokument

Datum der  
Veröffentlichung

Mitglied(er) der  
Patentfamilie

Datum der  
Veröffentlichung

US 4752969

A

21-06-1988

KEINE



**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

**BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ **BLACK BORDERS**
- ☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- ☒ **FADED TEXT OR DRAWING**
- ☐ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- ☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**
- ☐ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- ☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**
- ☐ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- ☐ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- ☐ **OTHER:** \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**